

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA DISPERSÃO DE POLUENTES EMITIDOS POR INCÊNDIOS NO VERÃO DE 2003 NA PENINSULA IBÉRICA

A. M. Ramos⁽¹⁾, S. Freitas⁽²⁾, K. Longo⁽²⁾, F. C. Conde⁽¹⁾, J. Corte-Real⁽¹⁾, A. L. Fazenda^(2,3), F. S. Recuero⁽²⁾, D. S. Moreira⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Física, Universidade de Évora. Rua Romão Ramalho, 59. 7000-671. Évora, Portugal, andramos04@yahoo.com.br

⁽²⁾ CPTEC/INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Rodovia Presidente Dutra, km 39. 12630-000. Cachoeira Paulista, São Paulo, Brasil, sfreitas@cptec.inpe.br

⁽³⁾ Depto. de Informática, Universidade de Taubaté. Av. Mal. Deodoro, 605. 12080-050. Taubate, São Paulo, Brasil.

RESUMO

O objectivo deste trabalho é utilizar o modelo CATT-B-RAMS (Coupled Aerosol and Tracers Transport model to the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System) para estudar o transporte atmosférico do monóxido de carbono (CO) e material particulado (PM_{2.5}) emitidos por queimadas que ocorreram durante o Verão de 2003 na Península Ibérica, no período de 31 de Julho a 3 de Agosto com a situação sinóptica actuante na exportação destes poluentes. As simulações numéricas foram feitas com a assimilação dos dados de fogos derivados a partir de medidas do MODIS/AQUA para a Europa para implementar a posição da emissão. Para a caracterização do estado inicial do modelo foram usadas as análises do modelo global AVN/NCEP (Aviation run of the National Center for Environmental Prediction Global Spectral Model) com grade de resolução de 80 km. Os resultados indicam que o modelo de mesoescala pode ser uma boa ferramenta para descrever a circulação atmosférica reproduzindo as principais características da situação sinóptica e o entendimento e avaliação deste impacto, passam necessariamente, pela junção de estudos observacionais e modelação numérica gerando modelos complexos que descrevam as inter-relações biosfera-atmosfera, caracterizando um estudo multidisciplinar.

SUMMARY

This study presents the transport of gases and particulate emitted by large scale vegetation fires that took place in the Iberian Peninsula in summer of 2003. This study is carried out through a numerical simulation using a high-resolution configuration of the 3-D transport model CATT-BRAMS (Coupled Aerosol and Tracer Transport to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System) coupled to a biomass burning emission model. The sources emission from biomass burning for carbon monoxide (CO) and particulate material (PM_{2.5}) are defined using MODIS/TERRA fire product and local observations. The initial and lateral boundary conditions necessary to drive model were provided by the Aviation run of the National Center for Environmental Prediction Global Spectral Model (AVN/NCEP). The coarse grid resolution was defined with 80 km grid spacing. The results show that the mesoscale model can be used as a useful tool to describe the atmospheric circulation reproducing the main characteristics of the synoptic situation and how it controls the pollution transport.

Palavras-chave: modelação atmosférica, incêndios florestais, transporte de poluentes, queima da biomassa.

Keywords: atmospheric modeling, biomass burning, meteorological conditions, long-distance transport

1. Introdução

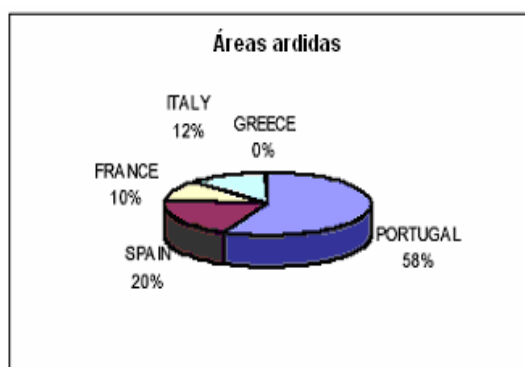
O verão de 2003 foi considerado um das mais intensas temporadas de incêndio durante as últimas décadas no sudoeste da Europa, principalmente concentrada em Portugal Continental, como pode ser observado nas figuras 1, que afectaram grandes áreas de reservas naturais, além de regiões próximas as áreas urbanas. Na Espanha foram registados os piores incêndios nos últimos 24 anos, além da

França e Itália. Segundo o Relatório da Comunidade Europeia, a média estatística dos números de fogos apresentou-se dentro do padrão observado dos anos anteriores, com aumento de áreas ardidas na região mediterrânea da Comunidade Europeia, principalmente verificado em Portugal. A figura 1a apresenta a média de área ardida e figura 1b o número de fogos para os últimos 24 anos (1979-2003). Foram registados uns totais de 740.379 ha (hectare) de área ardida e 54.741 ha para o número

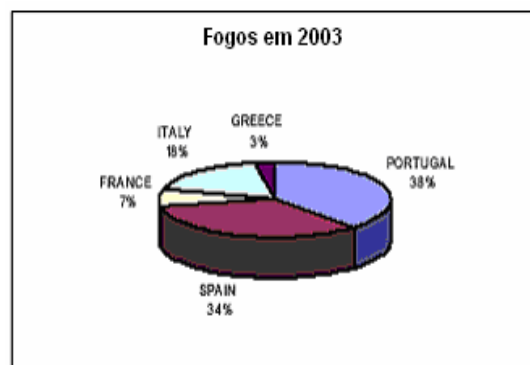
total de fogos. Durante 2003, cerca de 72% dos fogos ocorreram em Portugal e Espanha, resultando em aproximadamente 77% da área total ardida na região mediterrânea.

As condições do transporte e dispersão de poluentes são fortemente controladas pela situação meteorológica presente no momento da liberação do contaminante para atmosfera. A estabilidade da atmosfera, o vento próximo à superfície e a topografia em uma dada localidade ou região são factores fundamentais na dispersão e controlam principalmente o transporte atmosférico e a difusão. Além disso são factos condicionantes da dispersão as condições meteorológicas predominantes na meso e microescalas e interacção entre elas e com a macroescala. Durante o processo de queima de biomassa, uma grande quantidade de gases e partículas de aerossol é emitida para a atmosfera afectando tanto a qualidade do ar local, como também, o clima regional e global, através de vários processos atmosféricos com os quais são envolvidos.

Em escalas regional e global, estas emissões de queimadas alteram o balanço radiativo da atmosfera, através dos efeitos directos das partículas de aerossóis, ao reflectir e espalhar a radiação solar de volta para o espaço, reduzindo a quantidade absorvida pela superfície terrestre, e ao absorver radiação solar, aquecendo a atmosfera. Jacobson (2001) sugere que o aquecimento atmosférico devido aos aerossóis do tipo carbono preto (*black carbon*) poderia equilibrar o efeito de resfriamento associado a outros tipos (sulfatos), e que o forçamento radiativo directo deste pode exceder aquele associado ao CH₄. Desta forma, partículas de aerossol, produto de processos de combustão incompleta, estariam atrás somente do CO₂, na contribuição para o aquecimento radiativo da atmosfera.



(a)



(b)

Figura 1: Área total ardida (a) e total número de fogos (b) em percentagem (%), para a região mediterrânea dos países da Comunidade Europeia em 2003. (Fonte: European Commission - Joint Research Centre).

O objectivo deste trabalho é utilizar o modelo CATT-B-RAMS (Coupled Aerosol and Tracers Transport model to the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System) para estudar o transporte atmosférico do monóxido de carbono (CO) e material particulado (PM_{2.5}) emitidos por queimadas que ocorreram durante o Verão de 2003, no período de 31 de Julho a 3 de Agosto com a situação sinóptica actuante na exportação destes poluentes e mostrar de que forma um modelo meteorológico pode ser utilizado em estudo de dispersão de poluentes atmosféricos.

2. DADOS E METODOLOGIA

O CATT-B-RAMS (Freitas et al., 2005) é um modelo numérico de transporte de aerossóis e traçadores atmosférico acoplado à versão brasileira do modelo RAMS (Walko et al., 2000). O RAMS é um modelo numérico em diferenças finitas desenvolvido para simular os movimentos da atmosfera em várias escalas. O modelo resolve o sistema de equações não-hidrostatístico totalmente compressível descrito em Tripoli & Cotton (1982) e é equipado com um sistema de múltiplas grades aninhadas que permite a simulação de sistemas de várias escalas espaciais simultaneamente, permitindo a retro-alimentação entre estas. RAMS possui um completo e sofisticado conjunto de parametrizações físicas para simular os processos governantes da evolução do estado atmosférico. A condição inicial pode ser definida a partir de vários conjuntos de dados observacionais e, como condição de contorno, o modelo tem o esquema 4DDA (assimilação de dados em 4 dimensões) o qual permite que a solução do sistema de equações seja confiante com dados analisados de escala maior, tais como análises atmosféricas de modelos globais. O B-RAMS é derivado da mais recente versão do modelo RAMS

(5.0) com várias inovações, tais como, módulo de inicialização da humidade do solo (Gevaerd & Freitas, 2003), parametrização de cumulus rasos e profundos baseada no formalismo de fluxo de massa e com uma técnica de ‘ensembles’ para determinação do fluxo de massa (Grell (1993); Grell & Devenyi (2002), dentre outras.

CATT-B-RAMS é um modelo 3D Euleriano que prognostica a concentração de contaminantes atmosféricos de forma simultânea e totalmente consistente com o estado atmosférico simulado pelo RAMS/B-RAMS. Este procedimento rivaliza com a forma tradicional dos modelos de química da atmosfera, nos quais o transporte é feito ‘off-line’ usando os dados atmosféricos (dinâmicos e termodinâmicos) gerados previamente e salvos em discos. As principais vantagens deste procedimento se devem ao fato de permitir ter o prognóstico simultâneo do estado atmosférico dos pontos de vistas meteorológico e de qualidade do ar e permitir o estudo da interação ou da retro-alimentação entre o contaminante e a própria atmosfera (como no caso de aerossóis de queimadas e sua forçante radiativa). Do ponto de vista da dinâmica, o modelo resolve a seguinte equação para o prognóstico da razão de mistura s ($=p/p_{ar}$) do traçador:

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{adv} + \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{PBL_{turb}} + \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{shallow_{conv}} + \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{deep_{conv}} + W + R + Q \quad (1)$$

onde os símbolos significam:

- $\frac{\partial s}{\partial t}$, a tendência local,
- adv , a contribuição devido a advecção na escala da grade,
- PBL_{turb} , transporte turbulento sub-grade na camada limite planetária (CLP),
- $deep_{conv}$, transporte sub-grade associado às circulações convectivas húmidas e profundas,
- $shallow_{conv}$, transporte sub-grade associado às circulações convectivas húmidas e rasas (não-precipitantes),
- W , deposição húmida de material solúvel,
- R , termo sumidouro associado à deposição seca e/ou transformação química,
- Q , o termo fonte associado às emissões.

A razão de mistura é, então, prognosticada usando o esquema avançado no tempo e, normalmente, a condição de contorno sendo o fluxo de massa

advectivo constante no tempo quando dirigido para dentro do domínio espacial.

Uma descrição completa dos termos da Equação 1 é dada em Freitas (1999), Freitas et al., (2000) e Freitas et al., (2005), aqui serão descritos resumidamente. O termo fonte associado à emissão urbana e tecnológica é prescrito seguindo a base de dados EDGAR (Emission Database for Global Atmospheric Research, Olivier, 2002), enquanto que para emissões de queimadas, segue o procedimento descrito em Freitas (1999), combinando a assimilação de produto de detecção de focos de calor por sensoriamento remoto com dados observados de emissão por combustão de biomassa. O termo sumidouro descreve a remoção e/ou transformação química por meio do termo de vida-média do contaminante em questão. O transporte de contaminantes atmosféricos foi desenvolvido e acoplado às novas parametrizações de cumulus introduzidas, bem como um termo remoção húmida associada à precipitação convectiva para material solúvel (Freitas et al., 2005). O transporte turbulento na CLP (Camada Limite Planetária) e a advecção na escala da grade são resolvidos utilizando as parametrizações próprias do modelo atmosférico (Walko et al., 2000). O transporte de convecção rasa segue o esquema Grell de convecção rasa, que age somente em transportar as partículas de aerossóis e gases da CLP para a baixa troposfera. A remoção húmida convectiva para material particulado é parametrizada conforme Berge (1993), que considera a probabilidade do aerossol de ser absorvido pela gotícula da nuvem, a taxa de precipitação, o conteúdo de água líquida e a espessura da camada do modelo.

As simulações numéricas foram feitas para o período com a assimilação dos dados de fogos derivados a partir de medidas do MODIS/AQUA para a Europa para implementar a posição da emissão. O sensor MODIS (**MOD**erate – **reso**lution **Imaging Spectroradiometer**) a bordo dos satélites TERRA e AQUA, a uma altitude de aproximadamente 705km e circula em torno do globo terrestre 16 vezes ao dia de pólo a pólo, é utilizado para detectar fogo, estimar a taxa de emissão de energia radiactiva do fogo e a fracção de biomassa que é queimada na fase de combustão sem chamas, com medidas em 36 bandas espectrais (0,41 - 14µm) em três diferentes resoluções espaciais (250m, 500m e 1km), sendo capazes de produzir duas imagens globais diárias. A ênfase das medidas do sensor é nas aplicações da queima de biomassa, em particular na determinação das propriedades ópticas e físicas de nuvens das medidas de reflexões espectrais e emissão termal. O termo fonte associado à emissão urbana e tecnológica é prescrito seguindo a base de dados EDGAR (Emission Database for Global

Atmospheric Research, Olivier, 2002), enquanto que para emissões de queimadas, segue o procedimento descrito em Freitas (1999), combinando a assimilação de produto de detecção de focos de calor por sensoriamento remoto com dados observados de emissão por combustão de biomassa.

Para a caracterização do estado inicial do modelo foram usadas as análises do modelo global AVN/NCEP (Aviation run of the National Center for Environmental Prediction Global Spectral Model), resolução em torno de 1° na horizontal e intervalo de seis horas, com grade de resolução de 80 km, centrada em Lisboa (38.8°N; 9.28°W), iniciando em 01/07/2003 às 00:00 UTC, totalizando 92 dias, com saídas de dados a cada 6 horas de forma a representar as características observadas durante o período. Foi accionado o nível máximo pormenorizado da parametrização da microfísica de nuvens, activado para todas as mudanças de fase da água (vapor, líquido e sólido) e todos os tipos de hidrometeoros (Walko et al., 1995). Parametrização de cumulus rasos e profundos baseada no formalismo de fluxo de massa e com uma técnica de 'ensembles' para determinação do fluxo de massa (Grell (1993); Grell & Devenyi (2002), parametrização da radiação desenvolvida por Chen & Cotton (1987). Os coeficientes de difusão horizontal são parametrizados segundo a aproximação de Smagorinsky (1968). A difusão vertical é parametrizada de acordo com o esquema de Mellor & Yamada (1974) que emprega a equação de prognóstico da energia cinética turbulenta.

A especificação da ocupação do solo e vegetação, topografia e percentagem de Terra-Oceano foram obtidos a partir do USGS (United States Geological Survey) com a resolução de aproximadamente de 1km configurado para o uso no RAMS, de acordo com Mahrer & Pielke (1977). Os parâmetros de ocupação do solo (vegetação, construções, represas, ect..) são baseados em dados com resolução de 1km obtidos por radiómetros de elevada resolução (Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR) A Temperatura da superfície do mar (TSM) utilizada foi a do NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) climatológica com resolução de 1°. A simulação utilizou a topografia silhueta média (Bossert, 1990) com o objectivo de incorporar os efeitos fisiográfico na fronteira inferior.

O modelo de solo foi accionado, usando sete (7) níveis com 45% de saturação para todas as camadas (Tremback & Kessler, 1985). A grade utilizada pelo RAMS é distribuída, do tipo C de Arakawa (Messinger & Arakawa, 1976). Para a vertical, aplica-se um sistema de coordenadas que

acompanha o terreno, denominada sigma-z, descrito por Gal-Chen & Somerville (1975), Clark (1977) e Tripoli & Cotton (1982). No sistema considerado o topo do domínio do modelo é exactamente plano e a base segue as oscilações do terreno.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As condições meteorológicas para o Verão de 2003 consubstanciadas em altas temperaturas em torno de 40° C, humidades relativas muito baixas, bem como ventos predominantemente de leste seguindo um longo período de falta de precipitação na região, prevaleceram ao longo de muito dias na parte sudoeste da Europa durante o fim de Julho e as duas primeiras semanas de Agosto, o que deu origem a uma simultaneidade e concentração de incêndios florestais, cuja força e velocidade de propagação resultaram em violência e proporções fora do comum (European Commission, 2004).

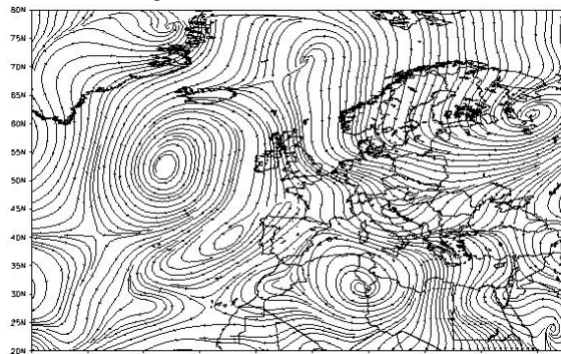
As Figuras a seguir correspondem à média mensal para o período de 25 de Julho a 25 de Agosto de 2003, com o objectivo de caracterizar a situação sinóptica prevalecente. O fluxo médio do vento aos níveis de 850 (Figura 2a) e 200 hPa (Figura 2b) denotam a presença de um intenso anticiclone na região centrado em torno de 55°N, circulação designada de bloqueio anticiclónico. Em condições de bloqueio, a presença de um anticiclone quase estacionário de grande amplitude interrompe a progressão normal dos sistemas para leste.

A característica da circulação atmosférica associada à situação de bloqueio é a divisão do jacto de oeste em dois ramos, o que ocasiona um rompimento do padrão zonal. Na situação de bloqueio forma-se um anticiclone nas latitudes mais elevadas (localizado em torno de 60°N) e é frequentemente acompanhado por uma baixa fria nas latitudes baixas. Nesta situação pode esperar-se um escoamento mais meridional onde os sistemas transientes de leste, como vales depressionário e anticlones, são desviados de suas trajetórias. Assim, as baixas migratórias ao aproximarem-se de uma alta de bloqueio ficam estacionárias ou deslocam-se na periferia da alta, podendo causar condições de tempo duradouras sobre grandes áreas (Sanders, 1953).

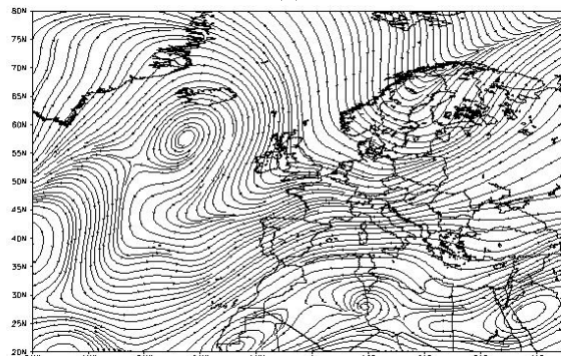
Verificou-se ainda a presença de um anticiclone no Norte da África (em torno de 35°N), além de uma fraca região depressionária na parte oeste da Península Ibérica ocidental. No flanco sul do anticiclone o vento foi praticamente zonal (200 hPa) que compreende numa área longitudinal bastante considerável, com a persistência do anticiclone no Oceano Atlântico, caracterizando as condições de bloqueio.

Na Figura 2c apresenta-se o campo da anomalia média positiva da temperatura aos 1000 hPa em praticamente todo o domínio, com máximo de 5.5°C na parte central do continente europeu, além de uma anomalia negativa na parte oriental da Europa e norte de África de -1°C e, aos 850 hPa (Figura 2d) persiste o mesmo padrão dos 1000 hPa, com anomalia positiva de 5°C, observada a 45°N, além da intensificação da anomalia na Península Ibérica. Há a presença da anomalia negativa da temperatura (ao redor de -1°C) numa região limitada do Oceano Atlântico, norte da África e nordeste da Europa.

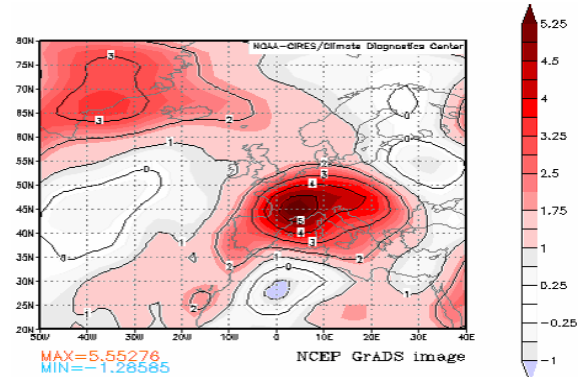
Este anticiclone anômalo é também observado no campo de anomalia da altura de geopotencial no nível de 500 hPa (Figura 2e) sob a forma de anomalia positiva na região, com máxima no norte do Oceano Atlântico e mínimo na parte sul do Oceano. No Norte da África e sob o continente europeu, a anomalia apresenta valores neutros a positivos e a medida que se desloca para o Mar do Norte, Reino Unido, faixa do Oceano Atlântico, envolvendo toda a parte norte do domínio da grade torna-se anomalias positivas máximas na ordem acima de 40 gpm. No campo da anomalia de humidade relativa em 1000 hPa (Figura 2f) é observado um máximo negativo no centro do continente europeu diminuindo a medida que se estende ao longo do continente, com valores positivos no sector oriental e constantes no restante da região, caracterizando de uma forma geral, um ambiente com baixa humidade em praticamente todo o domínio da grade.



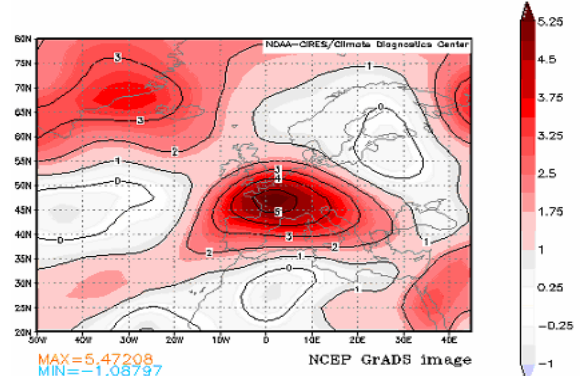
(a)



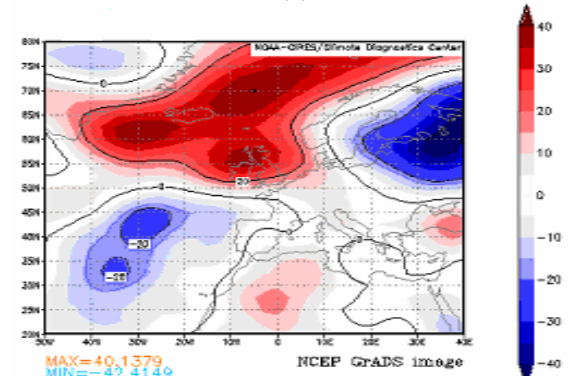
(b)



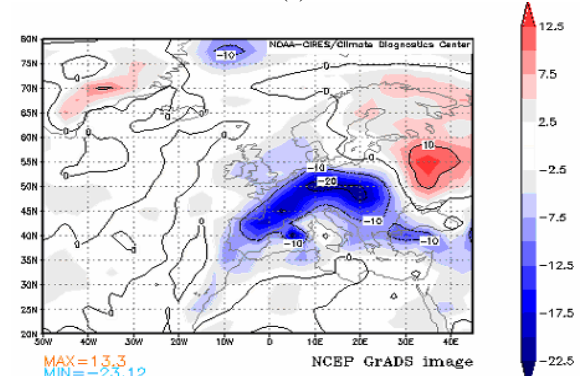
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 2: Linhas médias de correntes aos 850 hPa (a) e 200 hPa (b), campos de anomalias da temperatura aos 1000 hPa (c) e 850 hPa (d); altura do geopotencial aos 500 hPa (e) e humidade relativa aos 1000 hPa (f) em Agosto de 2003.

Os resultados simulados que serão discutidos a seguir correspondem a média a cada 6 horas de simulação para a resolução de 80 km que teve como objectivo verificar o estudo do transporte a grande distância das emissões dos incêndios que ocorreram na Península Ibérica. Assim, as Figuras 3 apresentam uma descrição média do campo espacial da pluma de fumo do monóxido de carbono (CO) no nível de 53 metros em ppb (parte por bilião) e as Figuras 4 para o material particulado (PM_{2.5}), integrado na coluna atmosférica, expresso em $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, ambos os campos com a sobreposição das linhas de corrente do movimento da atmosfera para o período analisado.

Os resultados do transporte de plumas de fumo produzidas pelos incêndios se originaram a partir do transporte vertical de produtos de queimada e da situação meteorológica actantes durante o período. A 31/07/2003 observa-se na Península Ibérica, núcleos de valores máximos da concentração do monóxido de carbono (CO), em torno de 800 ppb, no Centro do continente português, nas regiões de Galiza e Extremadura no continente espanhol e Norte de África, além da presença de núcleos na parte oriental do continente europeu em torno de 400 ppb. O transporte neste nível dá-se principalmente em função da configuração sinóptica condicionada por dois vastos campos anticiclónicos um localizado no Oceano Atlântico e o outro na região do Mediterrâneo, abrangendo praticamente todo domínio da grade e que proporcionaram zonas de confluência de ventos ao longo do continente europeu e Norte da África. Assim, sobre a Península Ibérica o fluxo é de Nordeste, às 00:00 UTC variando para Este às 06:00 UTC e a partir deste horário, muda para Noroeste principalmente sobre o continente português, influenciando o deslocamento da pluma de fumo que é transportada predominantemente para parte sul do Oceano Atlântico saindo do continente a partir da latitude em torno de 37°30'N. Uma parte do fumo originada no Centro do continente português às 12:00 UTC é primeiramente confinada nesta região e devido ao fluxo meridional, é deslocado próximo à costa portuguesa atingindo o deslocamento preponderante que se dá na parte sul do Oceano Atlântico. Para as demais regiões, em função do anticiclone localizado sobre o Mediterrâneo, mantém-se um escoamento e expansão da pluma mais para a parte sudeste do continente europeu e em relação aos núcleos observados em África, a pluma de fumo é desviada ao longo do continente africano para então ser transportada para o Oceano Atlântico. Observa-se que, em relação ao PM_{2.5} há concentração de valores máximos em praticamente todo o continente português e Norte de África na ordem de 250 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ e valores na ordem de 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ para demais

regiões, com a exportação da pluma de fumo preferencialmente em direcção ao Oceano Atlântico.

Às 00:00 e 06:00 UTC de 01/08/2003 apresentam concentrações médias de CO que intensificam-se e expandem-se ligeiramente sobre a Península Ibérica e Norte de África mantendo o deslocamento da pluma para a parte sul do Oceano e sobre o Oceano, em função de uma depressão em torno de 34°N, a pluma alonga-se. A partir das 12:00 UTC há presença de um anticiclone que influencia a região sul da Espanha, empurrando a pluma de CO em direcção ao Norte de Portugal e quando atinge o litoral é desviado para o Oceano. Às 18:00 UTC há diminuição e deslocamento do anticiclone para a região Sul do continente português, além presença de uma zona de confluência ao longo da costa espanhola, proporciona um confinamento da pluma no centro do continente português, enquanto que a pluma proveniente no Norte de África é transportada para o interior do continente em função de um fluxo meridional e então tende a ser desviada para o Oceano Atlântico. A exportação da pluma de fumo, proveniente da parte oriental do continente europeu, mantém-se para o sector sudeste do continente. O padrão de exportação do transporte da pluma do PM_{2.5} mantém-se para o Oceano e sobre o Oceano, a pluma é influenciado pela depressão que expande sua área de abrangência mais para o sector sul, enquanto que no continente africano, observa-se um fluxo de Nordeste deslocando a pluma para o interior do continente e então tende a ser direccionado para o Oceano.

Há presença de uma depressão no Oceano Atlântico em torno de 36°N em 02/08/2003 para todos os horários, influencia na expansão do transporte da pluma proveniente da Península Ibérica, com fluxo basicamente de Este, principalmente a partir das 12:00 UTC, com exportação predominante para o Oceano Atlântico. São verificados valores máximos das concentrações de CO nas regiões Norte e Centro de Portugal e nas regiões da Galiza e Centro da Espanha, além do Norte de África que mantém o escoamento para o Oceano. Em relação a parte oriental do continente europeu, há intensificação da pluma com escoamento para o Mediterrâneo e então tende a ser advectada mais para o sector sul do continente. Há presença de valores máximos de concentração do PM_{2.5} na região da Galiza, Espanha, Norte de África e em praticamente todo o continente português e às 18:00 UTC a concentração se reduzem a uma parte no litoral norte do país, com padrão de exportação do transporte da pluma similar ao horário anterior do PM_{2.5} e sobre o Oceano o deslocamento é mais para o oeste da Península Ibérica em função do deslocamento da depressão para esta região.

Os valores máximos da concentração de CO abrangem partes das regiões Norte e Centro da Espanha, Norte de Portugal e de África em 03/08/2003. Em relação a parte oriental do continente europeu, observa-se que há valores máximos influenciando parte do continente italiano proporcionando que a pluma seja deslocada para o Mediterrâneo devido a circulação presente, atingindo o continente africano. Para a exportação da pluma proveniente da Península Ibérica, observar-se um fluxo de Este tornando-se meridional a partir das 06:00 UTC de forma que a exportação é ao longo do continente português e então é redireccionada para o Oceano e sobre o Oceano, fica sobre a influência da depressão. Há intensificação do conteúdo de $PM_{2.5}$ sobre o continente português e região da Galiza em Espanha, mantendo um núcleo no Norte de África e, em função da configuração sinóptica, com a oscilação da depressão localizado sobre o Oceano a oeste da Península Ibérica, provocam um fluxo de Sudeste sobre o território português, empurrando a pluma para a costa Norte do litoral do país, sendo então, direccionada para o Oceano Atlântico, ficando sobre a influência da circulação provocada pela depressão, enquanto que para o continente africano, mantém o escoamento preferencialmente para o Oceano similar aos eventos anteriores.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objectivo a análise do transporte atmosférico e a evolução do monóxido de carbono (CO) e material particulado ($PM_{2.5}$) emitidos pelos incêndios que ocorreram durante o período de 31 de Julho a 03 de Agosto de 2003 na Península Ibérica, incluindo o estudo dos padrões sinópticos associados ao início e desenvolvimento das queimadas que ocorreram durante o período, utilizando o CATT-BRAMS (Coupled Aerosol and Tracers Transport model to the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System) uma vez que, o Verão de 2003 foi considerado uma das mais intensas temporadas de incêndios florestais durante as últimas décadas no sudoeste da Europa, principalmente concentrada em Portugal Continental, que afectou grandes áreas de reservas naturais, além de regiões próximas as áreas urbanas. Na Espanha foram registados os piores incêndios nos últimos 24 anos.

A situação sinóptica para esse período caracterizou-se por um bloqueio anticiclónico, que corresponde a presença de um anticiclone quase estacionário de grande amplitude que interrompe a progressão normal dos sistemas depressionários para leste. Os resultados do transporte da pluma do monóxido de carbono (CO) e do material particulado ($PM_{2.5}$) produzidos pelos incêndios durante o período

originou-se a partir do transporte vertical de produtos de queimadas e a situação meteorológica actuantes durante o período, influenciando a exportação das plumas sobre o continente europeu que ficou condicionado pela oscilações de dois vastos campos anticiclónicos um localizado nas região das Ilhas Britânicas e o outro localizado sob o mar Mediterrâneo, abrangendo praticamente todo o domínio, e que proporcionou a presença de zonas de confluência de ventos. Em Portugal Continental, além da influência dos anticiclones, as condições meteorológicas também estavam associadas com a entrada de massa de ar quente e seca transportada na circulação conjunta de um vale depressionário com uma depressão pouco cavada e do anticiclone dos Açores. Assim, devido a configura sinóptica, o escoamento da pluma da Península Ibérica apresentou duas saídas de exportação, uma preponderante em direcção ao Oceano Atlântico e sobre o Oceano ficou sobre a influência da oscilação de uma depressão e uma outra parte ficou confinada na região de confluência dos ventos. Para as demais regiões do continente europeu, a presença de um anticiclone no mar Mediterrâneo foi preponderante na exportação da pluma com escoamento preferencial para o sector mais ao sul do continente, enquanto que no continente africano, a exportação da pluma deu-se preferencialmente para o Oceano Atlântico.

Durante a combustão de biomassa foram emitidos para a atmosfera gases e partículas de aerossol que interagiram eficientemente com a radiação solar e afectaram os processos de microfísica e dinâmica de formação de nuvens e a qualidade do ar. Ressalta-se ainda que a poluição provocada pelos incêndios atingiu regiões distantes dos locais de ocorrência dos incêndios e adicionou-se à poluição antropogénica associada à ocupação urbana e actividades industriais. Desta forma, o entendimento e avaliação deste impacto, passam necessariamente, pela junção de estudos observacionais e modelação numérica gerando modelos complexos que descrevam as inter-relações biosfera-atmosfera, caracterizando um estudo multidisciplinar.

5. AGRADECIMENTOS

À FCT pela bolsa concedida SFRH/BD/9943/2002, incluindo o apoio financeiro em dois deslocamento para o exterior. Ao CPTEC/INPE por ter disponibilizado máquinas necessárias para as simulações com o modelo CATT-BRAMS.

6. REFERÊNCIAS

- Berge, E. Coupling of wet scavenging of sulphur to clouds in a numerical weather prediction model. *Tellus*, 45B, pp. 1-22, 1993.
- Bossert J. E. Regional-scale flows in complex terrain: an observational and numerical investigation [dissertation]. Fort Collins, CO: Department of Atmospheric Science, Colorado State University. pp. 257, 1990.
- Chen, C., W. R. Cotton. The Physics of the marine stratocumulus capped mixed layer. *J. Atmos. Sci.*, **44**, pp. 2951-2977, 1987.
- Clark, T. L. A small-case dynamic model using a terrain-following coordinate transformation. *J. Comput. Phys.*, **24**, pp. 186-215, 1977.
- European Commission. Schmuck, G., San-Miguel-Ayanz, J., Barbosa, P., Camia, A., Kucera, J., Libertà, G., Bucella, P., Schulte E., Flies, R., Colletti, L. (Eds), Forest Fires in Europe – 2003 Fire Campaign, Official Publication of the European Communities, SPI.04.124.EN, 2004.
- European Commission. Barbosa, P., San-Miguel-Ayanz, J., Camia, A., Libertà, G., Schmuck, G. (Eds) Assessment of fire damages in the EU Mediterranean Countries during the 2003 Forest Fire Campaign, S.P.I.04.64, 2004.
- Freitas, S. R. Modelagem Numérica do Transporte e das Emissões de Gases Traços e Aerossóis de Queimadas no Cerrado e Floresta Tropical da América do Sul. Tese de Doutorado em Física Aplicada, 204 pp. Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 1999.
- Freitas, S. R., M. A. F. da Silva Dias and P. L. da Silva Dias. Modeling the convective transport of trace gases by deep and moist convection. *Hybrid Meth. Eng.*, **2**, (3), pp 317-330, 2000.
- Freitas S.R., K.M. Longo, M.A.F. Silva Dias, P.L. Silva Dias, R. Chatfield, E. Prins, P. Artaxo, G.A. Grell and F.S. Recuero. Monitoring the Transport of Biomass Burning Emissions in South America. *Environmental Fluid Mechanics*, 5: 135-167, 2005.
- Gal-Chen, T., R. Somerville. On the use of a coordinate transformation for the solution of the Navier-Stokes equations. *J. Comput. Phys.*, **17** (2), pp. 209-228, 1975.
- Gevaerd, R., S. Freitas: Determinação da umidade do solo por sensoriamento remoto para inicialização de modelos de previsão numérica do tempo. Submetido a Revista Brasileira de Meteorologia (Rbmet) em 2004.
- Grell, G. A. Prognostic Evaluation of Assumptions used by Cumulus Parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 1993.
- Grell, G. A., and Dezso Devenyi. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophys. Res. Lett.*, vol. 29, no. 14, 2002.
- Incêndios Florestais. 13º Relatório Provisório. Direção Geral das Florestas. Divisão de Protecção e Conservação Florestal (www.dgf.min-agricultura.pt), 2003.
- Jacobson, M. Z. Strong Radiative Heating Due to the Mixing State of Black Carbon in Atmospheric Aerosols. *Nature*, **409**, pp. 695–697, 2001.
- Mahrer, Y., Pielke, R. A. A numerical study of the airflow over irregular terrain. *Beitrage zur Physik der Atmosphere*. **50**, pp. 98-113, 1977.
- Mellor, G.L., T. Yamada. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *J. Atmos. Sci.*, **31**, pp. 1791-1806, 1974.
- Mesinger, F., Arakawa, A. Numerical methods used in atmospheric models, **1**. GARP Publications. World Meteorological Organization, 1976.
- Olivier, J. G. J. Part III: Greenhouse gas emissions: 1. Shares and trends in greenhouse gas emissions; 2. Sources and Methods; Greenhouse gas emissions for 1990 and 1995. In: "CO₂ emissions from fuel combustion 1971-2000", 2002 Edition, pp. III.1-III.31. International Energy Agency (IEA), Paris. ISBN 92-64-09794-5, 2002.
- Sanders, R.A. Blocking highs over the Eastern North Atlantic Ocean and Western Europe. *Monthly Weather Review*, 81(3):, Mar. 1953.
- Smagorinsky, J. General circulation experiments with the primitive equations. 1. The basic experiment. *Mon. Wea. Rev.*, **91**, pp. 99-164, 1963.
- Tremback, C. J., e R. Kessler. A surface temperature and moisture parameterization for use in mesoscale numerical models. Apresentado na 7º Conference on Numerical Weather Prediction, Montreal, Canadá, AMS, 17-20, Junho, 1985.
- Tripoli, G. J., e W. R. Cotton. Three-Dimensional Cloud/Mesoscale Model. Part I: General Theoretical

Framework and Sensitivity Experiments. *J. Rech. Atmos.*, **16**, pp.185-219, 1982.

Walko, R. L.; Cotton, W. R.; Meyers, M. P.; Harrington, J. Y. New RAMS cloud microphysics parameterization. Part I: the single-moment scheme. *Atmospheric Research*, **38**, pp. 29-62, 1995.

Walko R., Band L., Baron J., Kittel F., Lammers R., Lee T., Ojima D., Pielke R., Taylor C., Tague C., Tremback C., Vidale P. Coupled Atmosphere-Biophysics-Hydrology Models for Environmental Modeling. *J Appl Meteorol.*, **39**: (6) 931-944, 2000.

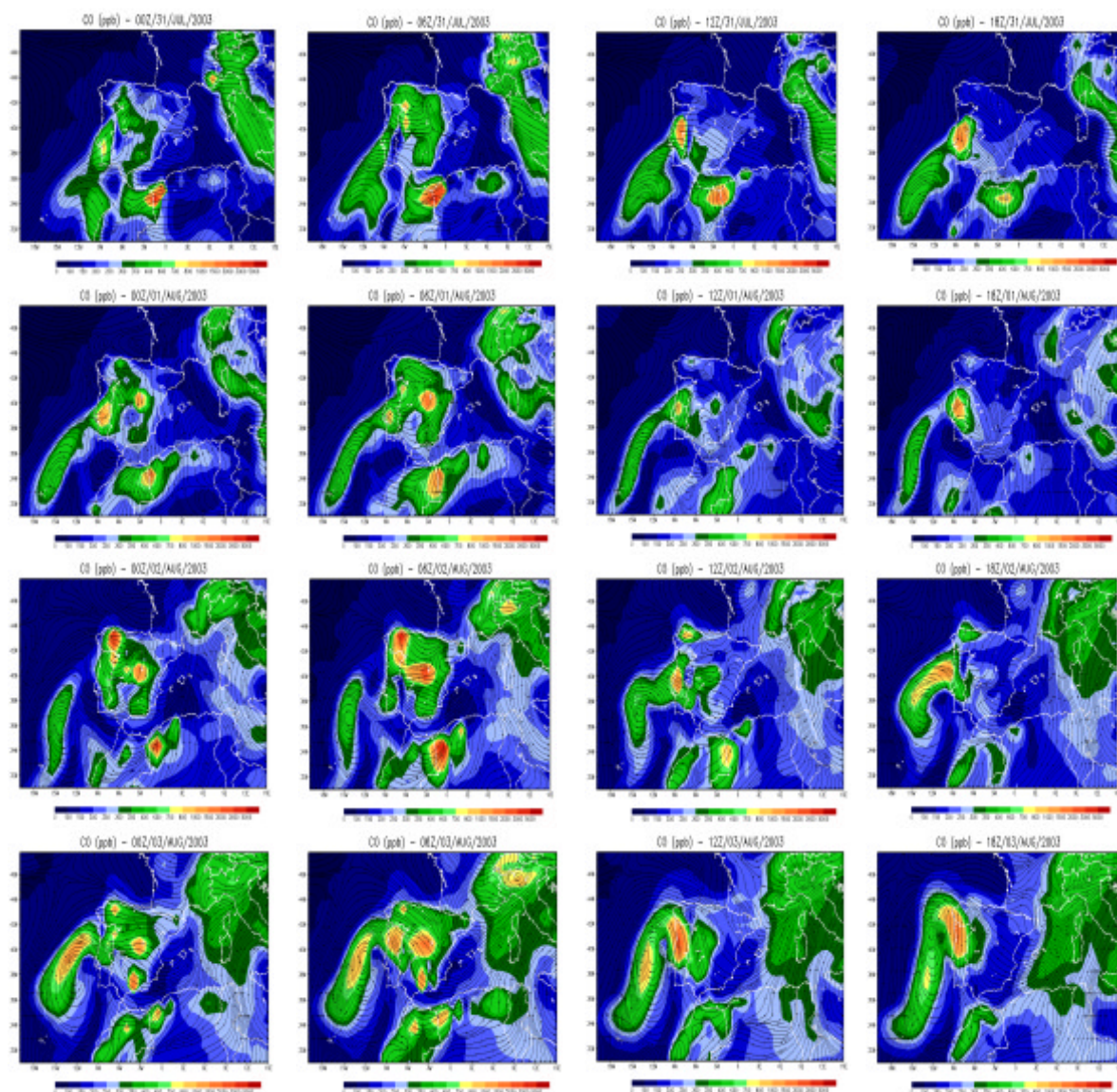


Figura 3: Simulações numéricas obtidas pelo CATT-BRAMS do monóxido de carbono (CO) com sobreposição do campo do vento à altitude de 53 metros para a grade 1 (80 km), durante o período 31/07 a 03/08 de 2003.

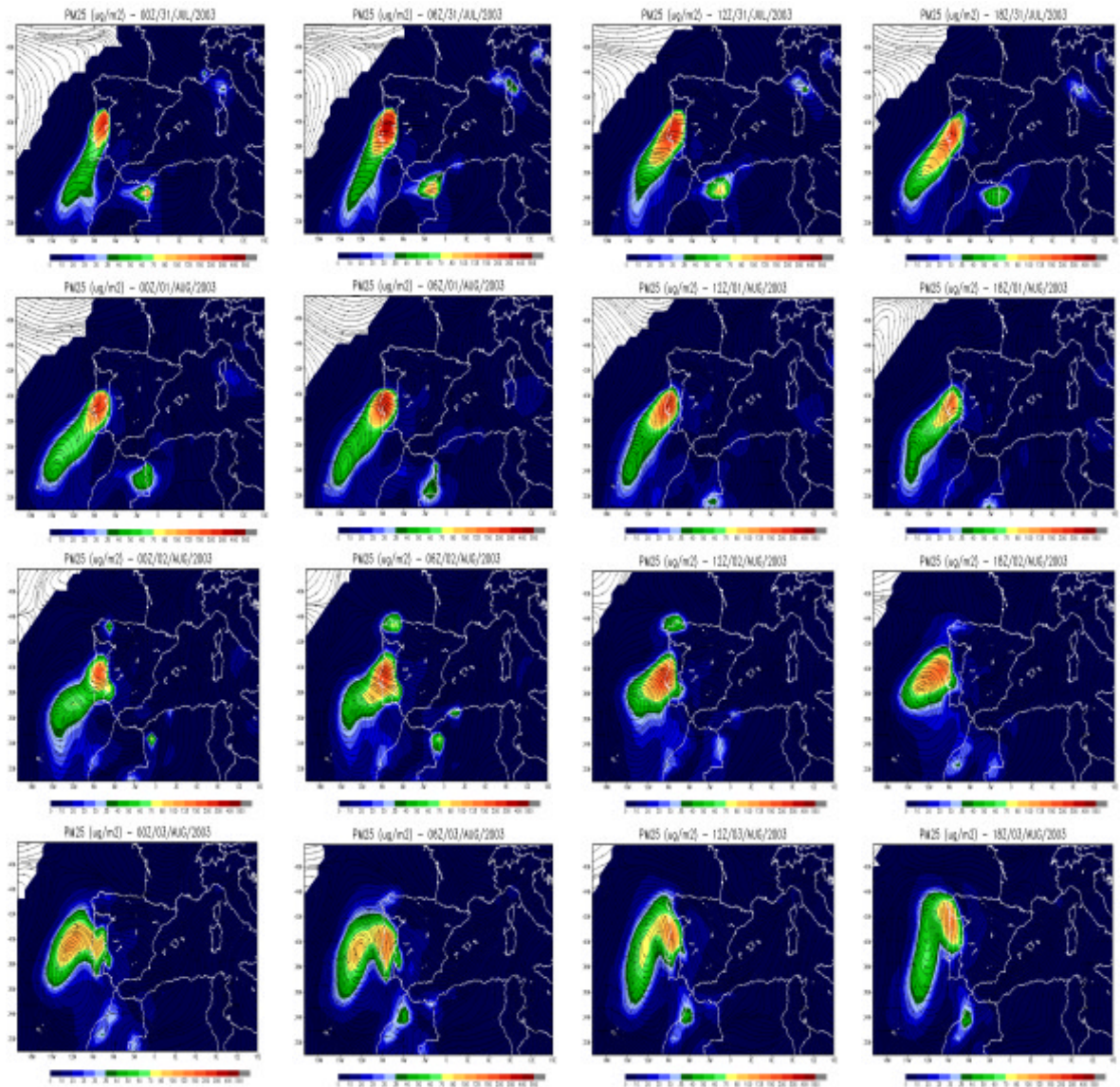


Figura 4: Simulações numéricas obtidas pelo CATT-BRAMS do material particulado (PM_{2.5}) integrado na coluna vertical com sobreposição do campo do vento para a grade 1 (80 km), durante o período 31/07 a 03/08 de 2003.